

ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

К статье Никольского „Принципы квантовой механики“

В. А. Фок, Ленинград

В своей статье „Принципы квантовой механики“ * К. В. Никольский делает попытку построить квантовую механику целиком на основе статистики и вывести квантово-механический аппарат (волновые функции, операторы, Гильбертово пространство), рассматривая исключительно вероятности и математические ожидания (средние) для различных физических величин.

Рассмотрим то основное требование, которому должно удовлетворять такое построение. Из квантовой механики мы знаем, что все вероятности и математические ожидания выражаются через волновые функции и операторы, причем существенную роль играет не только модуль, но и фаза волновых функций; эта фаза является величиной, определяемой из опыта с точностью до аддитивной постоянной (одной и той же для всех рассматриваемых состояний). Поэтому всякое логическое построение квантовой механики должно выводить из исходных постулатов свойства волновой функции, включая ее фазу.

Если исходить, как это делает К. В. Никольский, из рассмотрения вероятностей для различных физических величин, то нужно было бы прежде всего указать способ определения фазы волновой функции по этим вероятностям, а также указать те условия, которым должны удовлетворять вероятности, чтобы задача определения фазы имела решение. Не говоря об искусственности такой постановки вопроса, задача эта чрезвычайно трудна в математическом отношении, и насколько можно видеть, не имеет однозначного решения. Однако К. В. Никольский даже и не ставит задачи определения фазы, а как бы забывает про фазу. На стр. 545 он говорит, что волновые функции $c(k_n, l^*)$ и $d(s_n, l^*)$ определяются уравнениями

$$w(k_n, l^*) = |c(k_n, l^*)|^2; \quad w(s_n, l^*) = |d(s_n, l^*)|^2$$

(где w есть вероятность), между тем как этими уравнениями определяются, очевидно, только их модули. Несколькими строками ниже он говорит: „Мы выражаем вероятности, как квадраты модулей некоторых вспомогательных чисел (функций), остающихся произвольными“. Но из квантовой механики известно, что волновые функции $c(k_n, l^*)$ и $d(s_n, l^*)$ не только не произвольны, но выражаются одна через другую. Мало того, если даже рассматривать не обе функции $c(k_n, l^*)$ и $d(s_n, l^*)$ совместно, а только одну из них, например первую, то и она не будет произвольной, а должна удовлетворять ряду условий; например, совокупность величин $c(k_n, l^*)$ должна образовывать замкнутую систему („аргумент“ l^* и „значок“ k_n).

* Успехи физических наук, 16, 537, 1936.

Если понимать цитированные слова К. В. Никольского в том смысле, что он хочет выразить вероятности параметрически через вспомогательные (волновые) функции, то перед ним встает задача вывода и исследования свойств этих вспомогательных функций. Но эта задача равносильна независимому постулированию Гильбертова пространства и всего аппарата квантовой механики, т. е. как раз тому, чего он хочет избежать.

Вернемся к рассуждениям К. В. Никольского и будем понимать под $c(k_n, l^*)$ одну из бесчисленного множества функций с данным квадратом модуля. С тем же правом мы могли бы взять вместо $c(k_n, l^*)$ величину

$$c(k_n, l^*) e^{if(k_n, l^*)},$$

где f совершенно произвольная вещественная функция от двух аргументов. Функцию $c(k_s, l^*)$ Никольский разлагает в ряд по произвольной замкнутой системе функций $\varphi(n_\mu, l^*)$. Ввиду произвола в выборе переменной фазы $f(k_s, l^*)$, ни модули, ни фазы коэффициентов разложения никакого физического смысла иметь не могут. [Никольский обозначает эти коэффициенты через $c(n_\mu, k_s)$ или $c(k_s, n_\mu)$, вероятно, желая этим показать, что они аналогичны величинам $c(k_s, l^*)$, т. е., что квадраты их модулей дают некоторые вероятности; хотя это, очевидно, не так, но на этом мы останавливаться не будем.] В частности, ни откуда не следует, что величины $c(k_s, n_\mu)$ образуют ортогональную систему.

Далее Никольский рассматривает среднее значение величины K , определяемое по формуле

$$\text{ср. зн. } K = \sum_{\mu=1}^{\infty} k_\mu |c(k_\mu, l^*)|^2$$

и пишет его в виде

$$\text{ср. зн. } K = \int dn \varphi(n, l^*) \int K(n, n') \varphi(n', l^*) dn',$$

где $K(n, n')$ обозначает сумму

$$K(n, n') = \sum_{\mu=1}^{\infty} k_\mu c(k_\mu, n) \overline{c(k_\mu, n')}.$$

Эту сумму Никольский рассматривает как ядро оператора для физической величины K . Таким образом, он считает, что из математического ожидания K (т. е. из диагонального элемента матрицы для K) он вывел весь оператор K (т. е. все элементы матрицы для K). Это, очевидно, невозможно, так как при данных диагональных элементах остальные элементы матрицы могут быть какими угодно.

Далее, на стр. 549, Никольский говорит, что оператор, имеющий ядро

$$K^2(n, n') = \sum_{\mu=1}^{\infty} k_\mu^2 c(k_\mu, n) \overline{c(k_\mu, n')}$$

представляет дважды повторенную операцию K . Это было бы верно, если бы $c(k_\mu, n)$ представляли замкнутую систему функций, но для $c(k_\mu, n)$, определенных по Никольскому, это очевидно неверно, так как его $c(k_\mu, n)$

подчинены лишь весьма общему условию, чтобы сумма ряда

$$c(k_s, l^*) = \sum_{\mu=1}^{\infty} c(k_s, n_{\mu}) \varphi(n_{\mu}, l^*)$$

имела заданный модуль. Таким образом, здесь получается прямое противоречие.

Дальнейшие противоречия получаются у Никольского, когда он начинает рассматривать совместно операторы для двух величин K и R . Согласно его определению, K есть один из бесчисленного множества операторов, обладающих данными диагональными элементами матрицы $(I^*|K|I^*)$. Аналогично, R есть один из бесчисленного множества других операторов. Так как эти операторы выхвачены наудачу среди бесчисленного множества равноправных, то не может быть никакой речи о том, чтобы из их определения вытекали какие-либо определенные «взаимные свойства», например, коммутативность или некоммутативность этих операторов. Поэтому все рассуждения Никольского, относящиеся к вычислению средних квадратических отклонений, лишены всякого логического основания.

Мы разобрали подробно § 3 статьи К. В. Никольского, содержащий ее основные идеи. Мы убедились в том, что, хотя в квантовой механике встречаются формулы, аналогичные формулам Никольского, но они там вытекают из основных предположений о волновых функциях и операторах. В статье же Никольского эти формулы абсолютно не обоснованы. Но если мы их примем хотя бы в качестве постулатов, то в них уже будут содержаться все основные гипотезы квантовой механики. Между тем Никольский полагает, что его формулы не зависят от этих гипотез и представляют независимый от физики статистический метод (стр. 541). В этом состоит дальнейшее заблуждение К. В. Никольского.

В результате, у читателя статьи К. В. Никольского получается впечатление, будто квантовая механика есть только род статистики. Между тем важнейшим достижением современной физики следует признать именно то, что она научилась наблюдать элементарные физические процессы, отдельные частицы. Квантовая механика дает формулировку тех законов, которыми эти элементарные процессы подчиняются. На языке квантовой механики может быть записан результат единичного измерения. Поэтому, хотя даваемые квантовой механикой прогнозы имеют в общем случае статистический характер, не следует забывать, что квантовая механика отнюдь не сводится к статистике.

Ответ В. А. Фоку

К. В. Никольский, Москва

Критические замечания В. А. Фока о моей статье „Принципы квантовой механики I“ дают мне повод сделать некоторые разъяснения относительно слагающейся ситуации. Мне думается, что это принесет большую пользу советской теоретической физике.

В развитии современной теоретической физики очень большое значение имеет квантовая механика, имеющая громадные достижения при решении различных специальных задач атомной физики. У нас в Союзе имеются физики-теоретики, занимающиеся квантовой механикой. Квантовая механика уже преподается в вузах, как отдельная дисциплина. Но, несмотря на протекшие десять лет со времени ее возникновения, квантовая механика до сих пор не имеет твердо установленных принципов. В вопросе о ее принципах существуют значительные разногласия. Так, отмечу, что Нильс Бор и его последователи, в частности В. Гейзенберг, занимают